

## Analisis hidrologi, hidraulik, dan kriteria desain bangunan di sungai



© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi.....	1
4 Sifat daerah aliran sungai.....	3
5 Curah hujan.....	4
6 Debit sungai .....	6
7 Data morfologi sungai .....	9
8 Karakteristik perkembangan morfologi sungai .....	11
9 Hidraulik sungai dan hidraulik bangunan .....	12
10 Lokasi bangunan .....	12
11 Desain Hidraulik .....	13
12 Kriteria desain untuk bangunan di sungai .....	13
13 Pemilihan metode dan pengujian dengan model .....	28
14 Koordinasi pengelolaan bangunan dan sungai .....	29
 Tabel 1 - Koefisien aliran (C) dengan periode ulang $\leq 10$ Tahun .....	 4



## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai “Analisis hidrologi, hidraulik dan kriteria desain bangunan di sungai” merupakan revisi dari SNI 03-1724-1989, Pedoman desain hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai. Perubahan yang mendasar dalam standar ini adalah cara penulisan disesuaikan dengan Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007.

Standar ini memberikan keseragaman tata cara analisis hidrologi dan hidraulik untuk desain bangunan di sungai dengan mempertimbangkan data lapangan. Standar ini menunjukkan bahwa perubahan morfologi sungai yang tidak diperhitungkan dengan baik telah menjadi pemicu kerusakan lingkungan sungai dan kegagalan bangunan di sungai .

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subkomite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Balai Hidraulik dan Geoteknik Keairan. Standar ini telah dibahas dalam forum rapat konsensus oleh Subkomite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air pada tanggal 4 November 2013 yang melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait serta telah melalui tahap Jajak Pendapat tanggal 28 Agustus 2014 hingga 27 Oktober 2014.





## Pendahuluan

Usaha pendayagunaan, konservasi dan pengendalian daya rusak sumber daya air dilakukan pemerintah melalui berbagai pembangunan sarana keairan, antara lain bendung tetap, bendung gerak dan bendungan, telah meningkatkan taraf kehidupan masyarakat. Namun, beberapa bangunan di lapangan masih menunjukkan kinerja yang kurang mantap dan telah menimbulkan penurunan kualitas lingkungan.

Dalam standar ini dibahas kriteria dasar yang terkait dengan desain hidrologi dan desain hidraulik untuk berbagai bangunan air di sungai, antara lain bendung, dam penahan sedimen, perlindungan tebing langsung, bangunan pelintas atas dan bangunan pelintas bawah.





## Analisis hidrologi, hidraulik, dan kriteria desain bangunan di sungai

### 1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan ketentuan analisis hidrologi, hidraulik dan kriteria desain bangunan di sungai yang meliputi: perhitungan banjir rencana, ketersediaan air, jenis aliran, angkutan sedimen, dan syarat-syarat perencanaan lokasi bangunan air.

### 2 Acuan normatif

Dokumen yang diacu berikut sangat diperlukan untuk penerapan dokumen ini. Untuk acuan bertanggal, hanya edisi yang dikutip yang berlaku. Untuk referensi tak bertanggal, berlaku edisi terbaru dokumen yang diacu (termasuk amandemennya).

SNI 03-1731-1989, *Pedoman keamanan bendungan*

SNI 03-2401-1991, *Tata cara perencanaan bendung*

SNI 2415, *Tata cara perhitungan debit banjir rencana*

SNI 2851:2015, *Desain bangunan penahan sedimen*

SNI 03-3441-1994, *Tata cara perencanaan teknik pelindung tebing sungai dari pasangan batu.*

SNI 6738:2015, *Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit*

SNI 8066:2015, *Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung*

ASTM D 422, *Method for particle-size analysis of soils.*

### 3 Istilah dan definisi

#### 3.1

##### **aliran**

gerak air yang dinyatakan dengan gejala dan parameter

#### 3.2

##### **bangunan di sungai**

bangunan yang berfungsi konservasi, pendayagunaan dan pengendalian daya rusak air

#### 3.3

##### **bentuk bangunan**

jenis dan ukuran bangunan termasuk bagian atau komponen bangunan tersebut

#### 3.4

##### **Daerah Aliran Sungai (DAS)**

suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di pantai sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan

#### 3.5

##### **debit**

volume air yang mengalir melewati suatu penampang tertentu per satuan waktu



**3.6****desain**

suatu kegiatan perancangan atau biasa dikenal dengan perencanaan teknik

**3.7****hidraulik**

segala yang berhubungan dengan aliran air dan material yang dibawanya

**3.8****hidraulika**

ilmu yang mempelajari sifat dan hal-hal yang terkait dengan aliran dan material yang dibawanya, termasuk gaya-gaya yang ditimbulkannya

**3.9****hidrograf debit**

grafik atau tabel yang menunjukkan perubahan debit sungai yang mengalir dari waktu ke waktu di suatu penampang sungai

**3.10****hidrograf muka air**

grafik atau tabel yang menunjukkan perubahan muka air sungai dari waktu ke waktu di suatu penampang sungai

**3.11****hidrologi terapan**

cabang hidrologi yang mengacu pada keteknikan dari segi hidrologi lainnya dengan penerapannya dalam bidang yang berhubungan dengan pengembangan dan pengelolaan sumber daya air

**3.12****ilmu hidrologi**

ilmu yang berhubungan dengan air di bumi, keterdapatannya, peredaran dan sebarannya, persifatan kimia dan fisiknya, reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk hidup serta proses yang mengendalikan penyusutan dan pengisiulangan sumber daya air di daratan dan berbagai fase daur hidrologi. Dalam pedoman ini terbatas pada hidrologi terapan

**3.13****intensitas hujan**

tinggi curah hujan yang terjadi dan dinyatakan dalam satuan kedalaman per satuan waktu tertentu tempat air tersebut berkonsentrasi

**3.14****kala ulang debit aliran sungai atau curah hujan**

suatu kurun waktu berulang dengan debit aliran sungai atau curah hujan yang terjadi dilampaui atau disamai oleh debit aliran sungai atau curah hujan desain

**3.15****koefisien pengaliran**

perbandingan antara volume aliran permukaan yang terjadi dan volume curah hujan yang turun di suatu DAS untuk selang waktu tertentu



**3.16**

**muatan sedimen**

material yang terangkut aliran, yang secara mekanisme angkutnya meliputi muatan layang dan muatan dasar

**3.17**

**pemilik bangunan**

instansi pemerintah, badan hukum, badan usaha, organisasi, atau perorangan yang mempunyai hak milik secara sah menurut peraturan perundang-undangan atas bangunan

**3.18**

**perencanaan yang dimaksud dalam pedoman ini**

kegiatan yang mencakup survei, penyelidikan dan desain

**3.19**

**sungai**

tempat-tempat, wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara yang dibatasi pada kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan

**3.20**

**tinggi curah hujan**

tinggi genangan air dalam mm yang diukur dengan alat penakar hujan

**4 Sifat daerah aliran sungai**

Dalam mendesain bangunan di sungai, karakteristik DAS harus dipelajari sesuai dengan ketentuan yang diatur. Karakteristik DAS seperti yang dimaksud meliputi keadaan topografi, vegetasi dan pengolahan lahan, karakteristik geoteknik dan fisik tanah.

**4.1 Keadaan topografi**

Keadaan topografi akan mempengaruhi bentuk dan luas suatu DAS dan selanjutnya bentuk dan luas DAS akan mempengaruhi karakteristik hidrograf debit dan muka air sungai bersangkutan. Dalam mendesain bangunan, batas DAS perlu digambarkan berdasarkan peta topografi atau peta ortofoto dengan skala minimal 1 : 100.000.

**4.2 Penutup lahan**

Keadaan penutup lahan lazimnya ditinjau dari keadaan vegetasi dan cara pengolahan lahan yang diterapkan (antara lain terasering) serta bangunan-bangunan yang mempunyai pengaruh dominan terhadap laju aliran permukaan, erosi dan sedimentasi:

Tanah yang bervegetasi baik mempunyai potensi:

- a) mengurangi kecepatan aliran permukaan;
- b) meningkatkan daya infiltrasi;
- c) melindungi tanah, menyerap dan menahan air, serta mengendapkan partikel tanah yang terangkut; dan
- d) memperkecil erosi.

Vegetasi dan pengolahan lahan merupakan salah satu faktor penentu laju erosi. Nilai faktor tersebut dapat diperkirakan berdasarkan rujukan empirik dan harus disetujui oleh instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.

Dalam menetapkan nilai pengaruh penutup lahan dalam mendesain bangunan tertentu perlu dipelajari distribusi dan luas setiap satuan penutup lahan.



### 4.3 Sifat fisik tanah

Tekstur tanah adalah keadaan hubungan fisik antarbutir tanah. Berdasarkan besar diameter butir tanah, jenis tanah diklasifikasikan sebagai berikut (*ASTM D 422, Method for particle-size analysis of soils*): lempung ( $<0,02$  mm), lanau ( $0,02$  mm -  $0,05$  mm) dan pasir ( $0,05$  mm -  $2,00$  mm).

Struktur tanah adalah keadaan susunan butir tanah yang secara alamiah menghasilkan suatu bentuk ikatan tertentu.

Sifat struktur tanah harus diuraikan berdasarkan bentuk dan ukuran butir tanah, serta derajat ikatannya.

Sifat fisik tanah sangat ditentukan oleh gabungan antara keadaan tekstur dan struktur tanah, antara lain sifat infiltrasi, perkolasi, dan erodibilitas.

Sifat fisik tanah harus ditentukan berdasarkan pengujian di laboratorium atau di lapangan.

### 4.4 Koefisien aliran

Untuk mendesain bangunan utama di sungai, menggunakan koefisien aliran harus ditentukan berdasarkan pengujian di daerah bersangkutan atau berdasarkan hasil analisis hidrologi.

Dalam hal tertentu, untuk mendesain bangunan di sungai dengan risiko rendah, koefisien aliran dapat diperkirakan berdasarkan data tersedia yang dapat diandalkan dan telah disetujui oleh instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.

Sebagai gambaran, nilai koefisien aliran dapat diambil dengan mengacu pada Tabel 1.

**Tabel 1 - Koefisien aliran (C) dengan periode ulang  $\leq 10$  Tahun**

Jenis daerah	Koefisien aliran	Kondisi Permukaan	Koefisien aliran
Daerah Perdagangan		Jalan Aspal	
Kota	0,70 – 0,95	Aspal atau beton	0,75 – 0,95
Sekitar kota	0,50 – 0,70	Batu bata atau batako	0,70 – 0,85
Daerah Permukiman		Atap Rumah	0,70 – 0,95
Satu rumah	0,30 – 0,50	Halaman berumput, tanah berpasir	
Banyak rumah, terpisah	0,40 – 0,60	Datar, 2%	0,05 – 0,10
Banyak rumah, rapat	0,60 – 0,75	Rata-rata, 2% - 7%	0,10 – 0,15
Permukiman, pinggiran kota	0,25 – 0,40	Curam, 7% atau lebih	0,15 – 0,20
Apartemen	0,50 – 0,70	Halaman berumput, tanah keras/padat	
Daerah Industri		Datar, 2%	0,13 – 0,17
Ringan	0,50 – 0,80	Rata-rata, 2% - 7%	0,18 – 0,22
Padat	0,60 – 0,90	Curam, 7% atau lebih	0,25 – 0,35
Lapangan, kuburan	0,10 – 0,25		
Halaman jalan kereta api	0,20 – 0,35		
Daerah tidak terpelihara	0,10 – 0,30		

Untuk periode ulang 25 tahun sampai dengan 100 tahun, koefisien pengalinya adalah 1,1 dan 1,25 serta hasilnya tidak lebih dari satu.

## 5 Curah hujan

Analisis hidrologi perlu dilakukan untuk mendapatkan data debit andalan dan debit desain banjir dengan berbagai kala ulang. Untuk melakukan analisis ini, diperlukan data debit



sungai dan data curah hujan. Untuk mendapatkan debit andalan dan banjir rencana, dapat digunakan dua pendekatan, yaitu sebagai berikut.

- a) Pendekatan pertama, bila tersedia data debit harian/bulanan untuk periode  $> 20$  tahun, debit andalan dapat ditentukan dengan membuat kurva durasi dari data tersebut. Untuk perhitungan besarnya banjir rencana diperlukan data observasi puncak-puncak banjir dengan periode 20 tahun atau lebih. Selanjutnya, dilakukan analisis frekuensi dari data puncak-puncak banjir observasi tersebut dengan menggunakan salah satu frekuensi distribusi yang cocok dengan data-data tersebut seperti Normal distribusi, Log Normal, Gama, *Pearson*, Log *Pearson*, dan *Gumbel*.
- b) Pendekatan kedua, untuk kondisi data debit observasi sangat minim, diperlukan data curah hujan yang mempunyai periode yang panjang. Dengan menggunakan model hubungan antara hujan, debit dan kalibrasi, dapat ditentukan parameter dari model. Parameter tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan hidrograf banjir rencana dengan input besarnya hujan rencana (yang dihitung dari analisis frekuensi hujan harian maksimum pada daerah tersebut).

### 5.1 Intensitas hujan dan curah hujan rata-rata

Untuk mendapatkan intensitas curah hujan diperlukan data catatan otomatis yang mencatat curah hujan durasi pendek menitan, jam-jaman yang dihitung dengan berbagai rumus, antara lain:

- a) *Talbot*;
- b) *Sherman*;
- c) *Ishiguro*;
- d) *Mononobe*; atau
- e) analisis langsung (Rumus *Beel*) dari data curah hujan jam-jaman.

Curah hujan rerata di suatu DAS dalam suatu kurun waktu tertentu dapat ditentukan dengan tiga metode utama yang umum digunakan, yaitu:

- a) metode Aritmatik;
- b) metode *Thiessen*;
- c) metode *Isohiet*.

Penggunaan metode selain yang disebutkan di atas, harus disetujui bersama antara pihak pemilik bangunan dan instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.

### 5.2 Pengisian data yang hilang

Kondisi penakar hujan di suatu pos hujan dalam suatu DAS kadang-kadang tidak dapat bekerja baik, rusak, atau karena sebab lain sehingga data curah hujan dari pos bersangkutan tidak dapat diperoleh atau tidak dapat diandalkan.

Apabila terjadi kekosongan data curah hujan secara berurutan (*time series*) dari suatu pos dalam suatu DAS, data tersebut tidak dapat digunakan. Apabila tidak ada data lain, pengisian data dapat dilakukan dengan hati-hati dan persyaratan yang ketat seperti koefisien korelasi yang tinggi dengan pos pengisi terdekat.

Bahasan mengenai pengisian data yang hilang diuraikan pada pedoman pengisian kekosongan data hujan dengan metode korelasi distandarisasi nonlinier bertingkat.

### 5.3 Distribusi curah hujan

Distribusi curah hujan harus dipelajari karena sangat mempengaruhi karakteristik hidrograf suatu sungai. Distribusi curah hujan ini biasa diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, antara lain:

- a) Tipe awal : distribusi puncak pada awal curah hujan;



- b) Tipe tengahan : distribusi puncak di antara awal dan akhir curah hujan;
- c) Tipe akhir : distribusi puncak pada akhir curah hujan.

Data pola distribusi curah hujan yang dicatat oleh alat penakar hujan otomatis perlu dipergunakan sebagai rujukan dalam penentuan pola distribusi curah hujan.

#### 5.4 Pemilihan pos hujan

Pemilihan pos hujan yang datanya akan dipergunakan dalam analisis, perlu dilakukan dalam suatu DAS yang jaringan pos hujannya belum merata, karakteristik lahannya bervariasi, dan curah hujannya berbeda. Pemilihan pos hujan tersebut dapat dilakukan dengan analisis korelasi antarpos hujan, kemudian hasilnya dikorelasikan lagi dengan debit sungainya.

### 6 Debit sungai

#### 6.1 Penentuan debit sungai

- a) Penentuan debit sedapat mungkin dilaksanakan dengan cara pengukuran dan ditunjang dengan cara analisis.
- b) Cara pengukuran tersebut dapat dibagi dua, yaitu secara langsung dan tidak langsung.
- c) Setiap cara penentuan yang dipilih harus sesuai dengan kondisi fisik dan hidraulik sungai.

#### 6.2 Pengukuran debit secara langsung

- a) Pengukuran debit secara langsung yang paling lazim adalah menggunakan alat ukur arus.
- b) Pengukuran debit sungai tidak mungkin dilaksanakan setiap saat secara terus menerus. Oleh karena itu, agar diperoleh gambaran perubahan debit aliran sungai yang menerus, harus ditunjang oleh kegiatan berikut:
  - 1) Pemantauan berlanjut tentang perubahan muka air sungai dengan memasang alat duga otomatis atau biasa, tetapi yang bekerja secara otomatis lebih disarankan.
  - 2) Pembuatan lengkung debit sungai yang dilakukan dengan memperhatikan:
    - (a) Keadaan debit kecil hingga debit besar sehingga perlu mempertimbangkan geometri dan pola arus sungai;
    - (b) Selalu dimutakhirkan untuk menyesuaikan dengan perubahan geometri dan pola arus sungai.
  - 3) Pembuatan hidrograf debit sungai dapat ditentukan berdasarkan analisis data pencatatan fluktuasi muka air dan lengkung debit sungai.
- c) Agar pengukuran seperti tersebut pada butir b) memberi hasil yang mantap dan dapat diandalkan, dalam melaksanakan pengukuran debit aliran sungai hendaknya memperhatikan faktor, antara lain:
  - 1) tempat pengukuran perlu dipilih yang aman dengan profil kecepatan arah horizontal yang relatif merata;
  - 2) alat yang dipergunakan harus secara berkala dikalibrasi;
  - 3) cara pengukuran;
  - 4) tenaga pengukur;
  - 5) waktu pengukuran yang tersedia dikaitkan dengan kondisi aliran dan kecenderungan perubahan debit sungai.
- d) Selain menggunakan alat ukur arus, pengukuran debit secara langsung dapat juga dilaksanakan dengan menggunakan:
  - a) pelampung;



- b) zat warna;
- c) cara volumetrik;
- d) teknik ultra sonik, dan lain-lain.

Uraian mengenai cara pengukuran debit secara langsung dibahas dalam SNI 8066:2015, Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung.

### 6.3 Pengukuran debit secara tidak langsung

- a) Pengukuran debit secara tidak langsung sering diperlukan, tetapi hanya boleh dilaksanakan apabila ditemui salah satu atau beberapa masalah atau kondisi berikut.
  - 1) Pengukuran debit secara langsung berbahaya bagi keselamatan petugas dan peralatan yang digunakan.
  - 2) Laju perubahan debit sungai relatif singkat dan saat kejadiannya sulit diramalkan.
  - 3) Selama pengukuran dilakukan, kondisi banjir yang diharapkan tidak terjadi sehingga diperlukan cara lain untuk memperkirakan debit aliran besar tersebut.
  - 4) Pengukuran debit banjir untuk beberapa tempat sulit dilaksanakan pada saat yang bersamaan, padahal data kondisi tersebut sangat diperlukan.
- b) Pengukuran debit secara tidak langsung seperti yang dimaksud pada butir a) dapat dilakukan dengan menggunakan:
  - 1) Metode kemiringan luas "*Slope Area Method*" dengan garis besar urutan sebagai berikut.
    - (a) Pengukuran tanda bekas banjir untuk menentukan tinggi dan kemiringan muka air banjir;
    - (b) Pengukuran penampang melintang dan memanjang sungai;
    - (c) Memperkirakan kekasaran hidraulik sungai.
  - 2) Metode pemanfaatan ambang di sungai:
    - (1) Ambang buatan (antara lain : bendung dan pengendali dasar sungai);
    - (2) Ambang alam tetap yang lengkung debit pelimpahannya dapat dianalisis dengan mudah.

Bila data telah tersedia, selanjutnya debit aliran sungai dapat dihitung dengan rumus hidraulik.

Uraian mengenai cara pengukuran debit dibahas dalam SNI 8066:2015, Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung.

### 6.4 Penentuan debit secara analisis

- a) Penentuan debit sungai secara analisis dari data hujan di DAS dapat dilakukan dengan menggunakan metode statistik dan/atau matematik. Metode yang lazim dipergunakan adalah:
  - 1) metode rasional;
  - 2) metode empiris;
  - 3) model matematik.

Metode ini hanya boleh dipergunakan apabila data yang diperoleh dengan pengukuran secara langsung seperti yang telah disebut pada subpasal 6.2 tidak cukup memadai, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.
- b) Pemilihan metode tersebut pada butir a) harus sesuai dengan karakteristik DAS yang ditinjau, data yang tersedia, dan harus disetujui bersama oleh pihak pemilik, pendesain, dan instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.



## 6.5 Debit banjir desain

Hubungan antara kala ulang atau frekuensi dengan suatu besaran kejadian, dalam hal ini debit aliran sungai atau curah hujan pada umumnya dapat dihitung dengan cara statistik yang sesuai dengan sifat spesifik data tersedia. Rentetan data yang digunakan dapat mengikuti jenis distribusi tertentu antara lain:

- Distribusi Normal, Log Normal; atau
- Distribusi Gamma, *Gumbel*, *Pearson* dan *Log Pearson* tipe III.

Agar analisis statistik mendapatkan hasil yang baik, paling sedikit harus dilakukan dengan menggunakan data sepanjang 10 tahun yang berurutan. Jika hal ini tidak dapat dipenuhi, terlebih dahulu perlu dilakukan upaya untuk menambah data yang diperlukan.

Cara yang biasa dilakukan adalah menambah data hujan dengan memperhatikan pola hujan di lingkungan lokasi studi dan melakukan analisis untuk mendapatkan besar debit berdasarkan data hujan untuk tahun terkait.

Uraian mengenai cara perhitungan statistik debit banjir desain dapat dilihat pada SNI 2415, *Tata cara perhitungan debit banjir rencana*.

## 6.6 Debit andalan

Perhitungan debit andalan sungai secara terperinci diuraikan pada SNI 6738:2015, Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit.

Tahapan perhitungan menggunakan lengkung kekerapan dengan data menerus secara garis besar dapat disusun sebagai berikut.

- Kumpulkan data debit dengan interval waktu sesuai tujuan perhitungan.
- Uji data debit yang akan digunakan secara statistik.
- Periksa panjang pencatatan data debit. Jika data yang tersedia lebih dari 10 tahun, data dapat langsung digunakan. Jika panjang pencatatan data kurang dari 10 tahun, perlu dilakukan pengisian data mengikuti uraian dalam pedoman pengisian kekosongan data hujan dengan metode korelasi distandarisasi non linier bertingkat.
- Susun seluruh data debit dari besar ke kecil.
- Tentukan nomor urut data.
- Hitung probabilitas setiap data berdasarkan nomor urut data dengan menggunakan rumus (1).

Formula yang digunakan untuk memplot lengkung durasi aliran dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$P_N [x_{(i)}] = (i - \alpha) / (N + 1 - 2\alpha) \quad (1)$$

Keterangan:

- $x_{(i)}$  adalah observasi terbesar,
- $N$  adalah jumlah data,
- $i$  adalah nomor urut dari 1 sampai dengan  $N$ .

Data debit diurut dari besar ke kecil dan  $\alpha$  adalah parameter yang sangat tergantung pada fungsi distribusi dari datanya. Kisaran nilai  $\alpha$  adalah sebagai berikut.

- $\alpha = 3/8$  (*Blom* Formula, Normal Distribusi)
- $\alpha = 0.44$  (*Gringorten* Formula, *Gumble* Distribusi)
- $\alpha = 0$  (*Weibull* Formula)
- $\alpha = 1/2$  (*Hazen* Formula)
- $\alpha = 2/5$  (*Cunnane* Formula)

Formula Weibull banyak digunakan untuk analisis hidrologi.

- Hitung debit andalan berdasarkan probabilitas yang diinginkan. Bila probabilitas yang ada tidak sesuai dengan yang diinginkan, dapat dilakukan interpolasi.
- Ubah probabilitas dari debit andal menjadi kala ulang dengan menggunakan rumus (2).



$$T = \frac{1}{(1 - P(X \geq x))} = \frac{1}{P(X < x)} \quad (2)$$

**Keterangan:**

T adalah jumlah tahun yang menunjukkan probabilitas kegagalan (debit yang terjadi  $< x$  m<sup>3</sup>/s) rata-rata sekali dalam T tahun, sehingga dapat disebut sebagai kala ulang.

P adalah probabilitas yang didapat dari rumus (1).

## 7 Data morfologi sungai

Data morfologi sungai merupakan salah satu dari data hidraulik yang diperlukan untuk mendesain bangunan di sungai. Data hidraulik lain yang diperlukan dalam desain adalah data yang berkaitan dengan hidraulika sungai dan hidraulika bangunan.

Morfologi sungai yang dimaksud dalam tata cara ini adalah aspek-aspek yang terkait dengan geometri, jenis, sifat, perilaku dan dinamika sungai dalam dimensi ruang dan waktu, serta lingkungan yang dipengaruhi dan mempengaruhinya.

### 7.1 Unsur morfologi sungai dan data pemanfaatan

- Unsur morfologi sungai yang harus diketahui dalam mendesain bangunan, yaitu perilaku sungai, parameter hidraulik aliran sungai, dan ukuran atau dimensi.
- Geometri atau bentuk sungai dapat berubah dalam dimensi ruang (vertikal, horizontal) dan waktu sebagai akibat dari perubahan lingkungan sungai;
- Keadaan morfologi sungai yang cenderung selalu berubah perlu dipelajari dan dipantau secara rutin, serta harus dipertimbangkan sebagai data masukan baik dalam perencanaan dan desain konstruksi suatu bangunan, maupun dalam eksploitasi dan pemeliharaannya.
- Pemanfaatan potensi sumber daya sungai perlu dilakukan, seperti abstraksi debit aliran dan material dasar sungai.

### 7.2 Perubahan morfologi sungai

Berkaitan dengan morfologi sungai, perlu dipelajari kemungkinan perubahan morfologi sungai yang menyangkut faktor : geometri sungai, hidrograf debit dan muka air, angkutan muatan sedimen, kondisi geoteknik DAS dan badan sungai, serta pemanfaatan sungai.

- Geometri sungai
  - Geometri sungai yang perlu diketahui adalah alur, palung, bantaran, lembah dan kemiringan dasar sungai, dengan parameter yang diperlukan adalah:
    - panjang;
    - lebar;
    - ketinggian (elevasi);
    - kekasaran; dan
    - alinyemen.
  - Parameter ini diperoleh dengan cara:
    - pengukuran langsung di lapangan,
    - analisis baik data primer maupun sekunder berdasarkan peta topografi, foto udara dan citra satelit.
  - Koefisien kekasaran sungai secara umum pada kondisi debit dan kedalaman aliran, dapat ditetapkan berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan, atau menggunakan data rujukan yang umum dipakai dengan memperhatikan morfologi sungai, material dan corak dasar sungai (*bed forms*) serta pemanfaatan lahan pada bantaran sungai.



- b) Hidrograf debit muka air merupakan luaran kondisi hidro-geologi DAS dengan karakteristik utama aliran kecil dan besar yang mempunyai parameter untuk kebutuhan desain sebagai berikut.
- 1) Parameter aliran besar yang meliputi:
    - (a) debit puncak;
    - (b) jangka waktu tercapainya puncak aliran;
    - (c) kecepatan naik dan turunnya aliran, volume aliran/banjir, dan;
    - (d) tinggi muka air.
  - 2) Aliran kecil atau sedang perlu dipertimbangkan pengaruhnya terhadap geometri dan pemeliharaan sungai, serta ketersediaan air untuk rencana pemanfaatan, operasi dan pemeliharaan bangunan.
- c) Angkutan muatan sedimen dan hal lain yang terkait yang perlu diketahui adalah:
- 1) Angkutan muatan sedimen terdiri atas muatan dasar dan muatan layang, yang sangat dipengaruhi oleh gradasi, diameter dan bentuk butir, serta massa jenis material dasar sungai. Rumus-rumus angkutan muatan sedimen yang biasa digunakan antara lain : *Meyer-Peter* dan *Muller*, *Engelund-Hansen*, dan *Van Rijn*. Rumus-rumus tersebut merupakan rumus empiris sehingga disarankan agar dilakukan kalibrasi dan verifikasi terlebih dahulu sebelum digunakan.
  - 2) Kecenderungan degradasi atau aggradasi dasar sungai.
  - 3) Gerusan lokal sebagai akibat gangguan aliran sungai oleh proses alami atau akibat struktur buatan.
  - 4) Penggerusan tebing yang dapat terjadi akibat aliran helikoidal, spiral atau pusaran air, yang dapat mengakibatkan longsor tebing.
  - 5) Meliku (sinusiositif), yaitu proses dan kondisi berliku-likunya alur dan palung pada bentang/ruas sungai di daerah yang cukup panjang.
  - 6) Berjalin (*braiding*), yaitu proses dan kondisi alur sungai yang berpindah-pindah dan membentuk jejalin alur pada suatu ruas sungai tertentu.
  - 7) Kemungkinan benturan dan abrasi oleh material padat yang terangkut aliran terhadap struktur bangunan, tebing, dan dasar sungai.
  - 8) Penghanyutan material badan sungai oleh rembesan akibat erosi buluh pada tebing dan dasar sungai.
- d) Kondisi geoteknik memberikan informasi tentang keadaan batuan dalam kaitannya dengan potensi angkutan muatan sedimen, gerakan tanah di alur, palung, tebing sungai, dan di DAS. Parameter yang penting adalah jenis, gradasi butir, kekerasan, kepadatan, homogenitas, perlapisan dan/atau struktur material pembentuk sungai, serta sifat rekayasanya.
- e) Faktor lain
- 1) Lokasi, jenis dan fungsi semua bangunan hidraulik dan bangunan umum lain mempengaruhi keseimbangan morfologi sungai.
  - 2) Pengaruh lingkungan yang dapat mengubah keseimbangan morfologi sungai, antara lain adalah: penambangan bahan galian Golongan C, pembuangan material padat ke palung sungai, pekerjaan pengerukan, perbaikan alur sungai, dan transportasi sungai, perubahan debit akibat penggabungan atau pencabangan sungai.
  - 3) Pengaruh kelautan antara lain adalah kegaraman, sedimentasi dan erosi di muara sungai akibat gelombang, arus, dan pasang surut.



## 8 Karakteristik perkembangan morfologi sungai

### 8.1 Sungai torensial

Ruas sungai torensial berada pada bagian hulu yang umumnya berupa daerah pegunungan. Sungai-sungai ini mempunyai kecepatan aliran tinggi karena kemiringan dasar yang curam. Material dasar sungai umumnya terdiri atas bongkahan-bongkahan batu. Kestabilan tebing dan dasar sungai sangat bergantung pada keberadaan bongkahan-bongkahan batu yang membentuk "lapisan parsial". Perkembangan morfologi sungai arah vertikal, dalam hal ini degradasi dasar sungai sangat dominan pada ruas sungai torensial ini.

### 8.2 Sungai berjaln

Sungai berjaln mempunyai alur-alur sungai yang saling berjaln dan mempunyai pulau-pulau di tengah palung sungai. Sungai ini umumnya dijumpai di daerah peralihan antara ruas hulu dan tengah dari suatu daerah pengaliran. Material dasar umumnya terdiri atas kerikil (*gravel*) dan kerakal (*cobble*). Karena ruas sungai ini berada pada peralihan dari bagian dengan kemiringan curam ke bagian dengan kemiringan dasar sungai relatif landai, maka setiap terjadi banjir akan terbentuk endapan muatan sedimen dalam jumlah yang besar. Setelah banjir reda, aliran sungai akan memilih alur-alur di sisi-sisi endapan yang rendah. Proses ini yang menyebabkan alur sungai pada sungai berjaln selalu berpindah-pindah.

Perkembangan morfologi sungai arah horizontal, dalam hal ini perpindahan alur sungai sangat dominan. Perpindahan alur sungai ini yang mengakibatkan aliran menuju bukaan jembatan menjadi menyerong atau seringkali juga menjadi menyusur oprit jembatan. Kondisi aliran ini memicu pertambahan dalam gerusan lokal pada jembatan.

### 8.3 Sungai berliku

Ruas sungai ini biasanya dijumpai pada ruas tengah dan hilir suatu daerah pengaliran sungai. Sungai berliku mempunyai bentuk datar berliku dan mengalami proses perkembangan morfologi sungai ke arah tebing sungai yang berada pada sisi tikungan luar dan pembentukan endapan pada tebing yang berada pada sisi tikungan dalam. Proses ini mengakibatkan pergeseran palung sungai ke arah tikungan luar. Pergeseran sungai di masa depan dapat diprediksi dengan membandingkan baik peta-peta maupun foto-foto udara yang diambil. Material dasar sungai didominasi oleh fraksi pasir dan kerikil.

Dengan memperhatikan proses perkembangan liku-liku sungai tersebut dapat dipahami bahwa pada tebing sungai dan bangunan struktur yang berada di lingkungan luar akan terjadi gerusan lokal yang dalam.

### 8.4 Sungai daerah muara

Pada daerah muara ruas sungai mempunyai kemiringan dasar sungai yang sangat landai. Hal ini mengakibatkan sebagian besar muatan sedimen yang dibawa oleh aliran sungai akan diendapkan pada ruas sungai ini. Pengendapan sedimen juga dipercepat oleh terjadinya proses koagulasi antara partikel sedimen dan garam yang terkandung dalam air sungai yang dipengaruhi oleh intrusi air laut. Dengan proses yang mirip dengan terjadinya sungai berjaln, pada sungai muara ini dapat terbentuk cabang sungai dan delta sungai.

Pengembangan morfologi sungai arah vertikal, dalam hal ini kenaikan (*agradasi*) dasar sungai dan perpindahan alur sungai sangat dominan pada muara sungai ini. Masalah pelimpasan karena bukaan jembatan menjadi berkurang akibat *agradasi* dasar sungai. Hal itu akan lebih dominan dihadapi pada ruas sungai muara ini dibandingkan dengan masalah gerusan lokal.



## 9 Hidraulik sungai dan hidraulik bangunan

### 9.1 Hidraulik sungai

Air di sungai dapat berada dalam keadaan diam dan mengalir dengan kondisi tenang, menjeram, loncat, pusaran, dan sebagainya. Parameter teknik aliran dalam dimensi ruang dan waktu yang perlu diketahui:

- a) debit, tinggi air, dan kecepatan aliran;
- b) tekanan, gaya seret, kekasaran, dan arah aliran.

### 9.2 Hidraulik bangunan

- a) Dalam penentuan bentuk dan dimensi hidraulik yang aman bagi bangunan dan atau bagian-bagiannya harus memperhitungkan prediksi respons perubahan morfologi sungai dan sifat hidrauliknya.
- b) Sifat hidraulik bangunan tercermin dalam rumus-rumus yang menyatakan hubungan antara kondisi dan parameter aliran pada bangunan tersebut.
- c) Rumus yang dimaksudkan seperti tersebut dalam butir b), antara lain : rumus tentang kapasitas peluapan, peredaman energi, penggerusan lokal, perkolasi, pengendalian muatan sedimen, penjalaran gelombang, dan kavitasi.
- d) Koefisien-koefisien dalam rumus hidraulik bangunan harus ditentukan sesuai dengan bentuk dimensi dan jenis bangunan serta aspek-aspek morfologi sungai. Koefisien ini dapat diperoleh dari hasil analisis model matematik, dan atau penyelidikan/pengujian di laboratorium dan atau di lapangan, serta dengan mengambil dan mengkajinya dengan data pustaka yang umum dipakai.

## 10 Lokasi bangunan

### 10.1 Lokasi bangunan yang baik

- a) Tempat bangunan yang baik adalah yang menguntungkan ditinjau dari segi sosial, teknik, lingkungan, dan ekonomi.
- b) Dari segi teknik dan ekonomi tempat bangunan lazimnya harus dipilih berdasarkan studi perbandingan atas beberapa tempat dengan mempertimbangkan fungsi bangunan, respons perubahan morfologi sungai, dengan faktor-faktor tertimbang sebagai berikut.
  - 1) Faktor geometri sungai dan topografi harus dipertimbangkan dalam memperkirakan:
    - (a) Tata letak bangunan dengan pelengkapannya.
    - (b) Tipe/jenis bangunan.
    - (c) Dimensi bangunan, yaitu menyangkut panjang, lebar, dan tinggi.
    - (d) Penanggulangan masalah aliran dan angkutan muatan sedimen, dan untuk jenis bangunan tertentu, misalnya bendungan perlu dipertimbangkan kemampuan menampung air.
  - 2) Faktor geoteknik adalah kondisi geologi (tanah dan batuan) tempat bangunan dan sekitarnya dalam kaitannya dengan:
    - (a) Potensi terhadap kestabilan dan kekuatan batuan, baik alamiah misalnya kegempaan, maupun karena pengaruh bangunan, antara lain : longsoran lereng dan tebing, daya dukung, sesar dan kekar, deformasi, rembesan, dan potensi liquifaksi.
    - (b) Tersedianya bahan bangunan yang diperlukan di tempat dan di sekitar tempat bangunan.
    - (c) Potensi bocoran dinding dan dasar tampungan air.
    - (d) Resiko kegempaan (termasuk liquifaksi).



- (e) Permasalahan angkutan muatan sedimen.
- 3) Faktor lingkungan dan kemudahan pelaksanaan konstruksi yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:
  - (a) Penggunaan lahan di tempat bangunan dan sekitarnya, di daerah hulu, dan hilir bangunan.
  - (b) Kemungkinan pengembangan daerah : di tempat bangunan, di hulu dan atau hilir bangunan.
  - (c) Keadaan sosial, budaya, dan ekonomi penduduk di tempat dan kepadatannya, serta di daerah hulu dan hilir bangunan.
  - (d) Faktor lain yang mempengaruhi perubahan morfologi sungai.
  - (e) Kemungkinan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi antara lain : transportasi bahan, jalan masuk, penempatan peralatan dan bahan,

## 10.2 Lokasi yang perlu dihindari

Suatu tempat perlu dihindari apabila berdasarkan penyelidikan lapangan dan analisis dari segi hidraulik dan geoteknik, ternyata memberikan kesimpulan bahwa:

- a) Bangunan tidak mungkin berfungsi baik walaupun usaha perbaikan dilaksanakan secara optimal.
- b) Memberi dampak berupa masalah teknik yang sulit diatasi sehingga memberatkan eksploitasi dan pemeliharaan.
- c) Memberi dampak negatif terhadap lingkungan dan sosial yang sulit diatasi.

## 11 Desain Hidraulik

Untuk melakukan desain hidraulik bangunan di sungai, diperlukan persyaratan pokok yang menyangkut debit desain dan pengaruh serta respons morfologi sungai.

### 11.1 Debit desain

- a) Semua bangunan harus didesain aman terhadap debit dengan kala ulang tertentu.
- b) Besar kala ulang untuk berbagai fungsi, baik jenis dan tipe bangunan maupun bagian-bagiannya berbeda-beda dan ditetapkan sesuai dengan standar yang berlaku.
- c) Apabila standar kala ulang untuk debit desain untuk suatu bangunan yang hendak didesain belum tersedia, maka penentuan kala ulang untuk bangunan itu harus mempertimbangkan segi keamanan, risiko dan konsekuensi, serta ekonomi, selanjutnya harus dikonsultasikan pada instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.

### 11.2 Pengaruh serta respons morfologi sungai

Pengaruh morfologi sungai dan prediksi respon sungai akibat kegiatan pembangunan dan produknya harus dipertimbangkan dalam desain bangunan pada tingkat keamanan dan risiko tertentu.

## 12 Kriteria desain untuk bangunan di sungai

### 12.1 Bendung

Pedoman perencanaan bendung secara terperinci dibahas dalam SNI 03-2401-1991, Tata cara perencanaan bendung.



- a) Fungsi  
Bangunan ini didesain dan dibangun sebagai bendung tetap, bendung gerak, atau kombinasinya. Selain itu, bangunan pun harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan sedimen di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka air sungai, maka air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhan, antara lain untuk irigasi, air minum, pembangkit energi, pembagi debit, pengendali banjir dan pembilas.
- b) Lokasi bendung  
Lokasi bendung harus ditentukan berdasarkan ketentuan-ketentuan yang dibahas pada Pasal 10 dan dapat dipilih baik di palung maupun di sudetan sungai.
- c) Syarat keamanan  
Agar dapat berfungsi sesuai dengan ketentuan, bendung harus didesain aman secara hidraulik, (termasuk rembesan) struktur dan fungsional.
  - 1) Keamanan hidraulik dan struktur  
Keamanan bangunan dan atau bagian bangunan secara hidraulik termasuk rembesan meliputi:
    - (a) Keamanan terhadap luapan  
Bagian-bagian bendung selain pelimpah bendung harus didesain aman terhadap luapan. Pelimpah bendung harus mampu melewati debit desain dengan tinggi jagaan yang cukup. Besar debit desain dan tinggi jagaan tersebut harus diambil sesuai dengan standar dan ketentuan yang berlaku; dan besarnya berbeda-beda menurut bagian-bagian bangunan, antara lain : tembok pangkal bendung, tanggul penutup, tanggul banjir dan tembok sayap hilir. Bagian-bagian bangunan itu sesuai dengan standar perencanaan irigasi tentang bendung.
    - (b) Keamanan terhadap gerusan lokal, degradasi dasar sungai dan gerusan tebing  
Agar bangunan aman dari gejala di atas, maka bangunan harus didesain sebagai berikut.
      - (1) Bentuk, arah bangunan dan bagian bangunan, antara lain tembok pangkal, tembok sayap, pilar jembatan pelayanan, mercu bendung dan peredam energi harus didesain sedemikian rupa sehingga pola aliran pada debit banjir desain tidak saling menyilang, tidak menimbulkan pusaran-pusaran aliran atau terkonsentrasi di satu sisi, sehingga tidak memicu terjadinya gerusan lokal dan gerusan tebing;
      - (2) Fondasi bagian-bagian bangunan harus diletakkan di bawah dasar terdalam gerusan lokal dan degradasi dasar sungai yang mungkin terjadi;
      - (3) Apabila degradasi dasar sungai yang mungkin terjadi cukup besar, sehingga desain terlalu mahal, tidak ekonomis, dan/atau sulit dilaksanakan, maka perlu dipertimbangkan alternatif penambahan pengaman lainnya, antara lain : bangunan pengendali dasar sungai, pelindung dasar dan tebing sungai, atau konstruksi bangunan bendung tersebut dilaksanakan bertahap sesuai dengan perkembangan kondisi degradasi dasar sungai.
    - (c) Keamanan terhadap degradasi dasar sungai
      - (1) Agar bangunan dan fungsi bangunan aman terhadap bahaya degradasi dasar sungai di udik bendung, maka perlu diusahakan pengendaliannya dengan antara lain bangunan bilas, pintu-pintu gerak dan pengendalian laju pasok sedimen dari udik.
      - (2) Dampak negatif degradasi dasar sungai di hilir bendung perlu diperhitungkan dalam penentuan kapasitas bangunan pelimpah dan elevasi tembok sayap hilir.
    - (d) Keamanan terhadap benturan dan abrasi oleh muatan sedimen dan benda padat lain



Apabila sungai membawa muatan sedimen dan/atau benda padat lainnya yang dapat merusak, bagian-bagian bangunan dapat didesain sebagai berikut.

- (1) Dipilih tipe, jenis dan dimensi bangunan dan bagian-bagiannya yang cocok dengan keadaan sungai tersebut, dan
  - (2) Permukaan bagian bangunan yang bersinggungan langsung dengan aliran diberi lapisan pelindung yang tahan benturan dan/atau abrasi, misalnya: beton mutu tinggi, batu candi, besi profil.
- (e) Keamanan terhadap rembesan dan erosi buluh  
Bendung atau bagian-bagiannya harus didesain aman terhadap rembesan dan erosi buluh yang mungkin dapat terjadi baik melalui fondasi maupun tebing tumpuan bangunan. Keamanan bangunan dapat diperbesar dengan memperpanjang garis rayapan aliran (*creep line*), antara lain dengan pembuatan lantai udik, dinding atau tirai di bawah bangunan, sistem drainase di bawah bangunan, atau kombinasinya, dan perbaikan fondasi dengan menurunkan koefisien permeabilitas lapisan tanah fondasi.
- (f) Keamanan terhadap problem berliku dan berjalannya sungai  
Keamanan bangunan terhadap masalah ini harus dipertimbangkan dalam desain, mengingat perpindahan alur utama sungai dapat mengakibatkan masalah dalam penyadapan air, penurunan efektivitas bangunan pelimpah dan peredam energi serta gerusan lokal.  
Masalah ini dapat diperkecil dengan mengusahakan pembuatan bangunan pengarah arus (*guide walls*) dan/atau sudetan agar aliran menuju bendung tetap tegak lurus poros bendung.
- (g) Keamanan terhadap tekanan air statik dan dinamik  
Bagian bangunan dan/atau komponennya harus didesain cukup stabil terhadap tekanan hidrostatik dan dinamik air dan tekanan sedimen, serta terhadap getaran akibat gerak air. Untuk mencapai keamanan yang memadai, dimensi bagian bangunan dan/atau komponennya perlu didesain lebih besar atau tebal daripada dimensi yang diperlukan untuk menahan gaya-gaya hidrostatik.

## 2) Keamanan fungsional

Keamanan fungsi bangunan terhadap gangguan angkutan muatan sedimen baik berupa ancaman abrasi maupun masalah sedimentasi atau benda padat lainnya yang tersangkut aliran misalnya batang-batang pohon yang tumbang serta perubahan morfologi sungai.

Bila sungai membawa muatan sedimen dan/atau benda padat lainnya, maka bangunan harus didesain agar bebas dari gangguannya, sehingga tetap dapat berfungsi dengan baik. Masalah ini dapat diperkecil dengan cara sebagai berikut:

- (a) Mengendalikan pola arus sehingga muatan sedimen dan atau benda padat lainnya yang terangkut aliran tidak mengganggu fungsi bangunan.
- (b) Mengatur tata letak yang tepat bagi bangunan pengambil dan bangunan pelengkap seperti : bangunan bilas, bangunan pembilas bawah, saringan batu dan sampah.
- (c) Mengalihkan dan/atau membagi angkutan muatan sedimen dan benda padat lainnya agar tidak masuk ke bangunan pengambil.

## d) Dimensi hidraulik

### 1) Panjang mercu dan bukaan pintu

Panjang mercu bendung pada bendung tetap atau panjang bukaan pintu pada bendung gerak harus didesain dengan memperhitungkan:

- (a) Kemampuan melewatkan debit banjir desain dengan tinggi jagaan yang cukup, sehingga setiap bagian bangunan aman terhadap kerusakan berat akibat peluapan.



- (b) Batasan tinggi muka air genangan di udik bangunan pada debit banjir desain mengingat pengaruhnya terhadap keamanan lingkungan, dan dimensi bagian bangunan lain seperti tanggul banjir.
- (c) Kemudahan operasi dan pemeliharaan pintu-pintu gerak.
- 2) Tinggi mercu dan tinggi empangan  
Tinggi mercu bendung tetap atau tinggi muka air normal atau tinggi empangan bendung gerak harus ditetapkan dengan mempertimbangkan :
  - (a) Kebutuhan tinggi muka air untuk penyesuaian.
  - (b) Kebutuhan tinggi tekan hidraulik untuk pembilasan endapan sedimen, baik di bangunan pembilas dan/atau bangunan penangkap pasir.
  - (c) Tinggi muka air genangan yang akan terjadi di udik bangunan pada debit banjir desain.
  - (d) Kesempurnaan aliran melalui mercu pelimpah bendung untuk mendapatkan kapasitas pelimpahan yang tinggi.
  - (e) Kebutuhan mendapatkan pola distribusi arah dan kecepatan aliran yang baik menuju bendung.
- 3) Bentuk mercu bendung tetap dan bentuk ambang bendung gerak  
Mercu atau ambang pada bendung tetap dapat berbentuk bulat dengan satu atau dua radius, atau ambang lebar, serta harus ditentukan dengan mempertimbangkan upaya untuk mendapatkan kapasitas pelimpahan yang tinggi, kekuatan struktur dan upaya untuk menghindari bahaya kavitas.
- 4) Tubuh bendung  
Tubuh bendung dapat didesain tegak atau miring, dengan memperhatikan faktor : parameter aliran, koefisien pengaliran mercu pada debit desain, benturan oleh muatan sedimen dan batu, kemungkinan kavitas, tipe peredam energi, rembesan dan stabilitas struktural.
- 5) Peredam energi
  - (a) Bergantung pada kondisi sungai dan besar energi yang harus diredam, peredam energi dapat dipilih dengan bentuk lantai datar dengan atau tanpa pelengkapannya antara lain : blok luncur, blok lantai, ambang hilir, bentuk kolam cekung antara lain masif, bergigi dengan kondisi aliran tenggelam (*roller bucket*) atau melompat (*ski jump*), bentuk bertangga dan jejaring laba-laba.
  - (b) Dimensi peredam energi harus diperhitungkan terhadap: tinggi terjunan, gerusan lokal dan degradasi dasar sungai, benturan dan abrasi oleh muatan sedimen dan benda padat lainnya, rembesan, dan tinggi muka air di hilir peredam energi.
- 6) Tembok sayap hilir  
Bentuk dan dimensi hidraulik tembok sayap harus ditentukan dengan memperhatikan bentuk bangunan peredam energi, geometri sungai di hilir dan sekitarnya, dalam gerusan lokal dan degradasi dasar sungai, stabilitas tebing, dan tinggi muka air hilir pada debit desain peredam energi, serta debit desain pelimpah dengan tinggi jagaan secukupnya.
- 7) Bangunan pengambil dan bangunan pengendali angkutan muatan sedimen  
Dimensi bangunan pengambil harus ditentukan atas dasar kebutuhan air maksimum, dengan membatasi tinggi kecepatan aliran masuk untuk pengendalian angkutan muatan sedimen dan benda padat lainnya masuk ke bangunan pengambil. Bangunan pengambil perlu dilengkapi dengan perlengkapan untuk mengelakan pemasukan sedimen.
- 8) Bangunan pengarah arus  
Bentuk bangunan pengarah arus di udik bendung harus dipilih dan disesuaikan dengan keadaan morfologi sungai di udik bendung, panjang mercu bendung dan kecenderungan perubahan morfologi sungai, sehingga aliran menuju bendung berarah tegak lurus terhadap sumbu bendung. Tingginya ditentukan setinggi muka



air pada debit desain untuk kapasitas pelimpahan, dan dengan mempertimbangkan perubahan morfologi sungai.

- 9) Tanggul penutup dan tanggul banjir  
Bila diperlukan tanggul penutup, maka tingginya harus dipertimbangkan terhadap tinggi muka air empangan pada debit desain bangunan pelimpah gelombang muka air, kemungkinan agradasi, dan dengan tinggi jagaan secukupnya menurut ketentuan yang berlaku.
- 10) Tembok pangkal bendung  
Tinggi tembok pangkal bendung harus ditentukan dengan memperhatikan debit desain untuk bangunan pelimpah. Panjang tembok pangkal ditentukan oleh dimensi tubuh bendung, kebutuhan untuk meletakkan jembatan pelayanan dan parameter hidraulik. Tembok pangkal dapat dibuat tegak atau miring.
- 11) Lebar bendung  
Lebar bendung adalah jarak dua tembok pangkal yang ditentukan oleh:
  - (1) Panjang mercu ditambah dengan lebar pintu dan pilar pembilas, dan atau pelepas banjir, dan atau lebar pilar pada bendung tetap, dan
  - (2) Lebar bukaan pintu gerak, ditambah dengan lebar pembilas dan atau pelepas banjir serta lebar pilar dan atau lebar bangunan pelintas perahu dan ikan.

## 12.2 Bendung gerak

- a) Prinsip dasar  
Bendung gerak adalah bendung yang dilengkapi dengan pintu-pintu sehingga upaya untuk meninggikan muka air sungai agar dapat disadap dapat dilakukan dengan mengatur bukaan pintu-pintu. Hal itu dilakukan agar dampak negatif keberadaan bendung terhadap kenaikan muka air udik yang tidak diinginkan serta terhentinya angkutan muatan sedimen dapat ditekan seminimum mungkin.  
Dengan memperhatikan hal tersebut, persyaratan dasar segi hidraulik dan operasi bendung yang harus dipenuhi dalam desain bendung gerak adalah di udik bendung tidak boleh terjadi arus aliran balik dan pengendapan sedimen.  
Untuk memenuhi persyaratan tersebut, dalam desain perlu diterapkan hal-hal berikut:
  - 1) Total penampang basah bukaan bendung diambil lebih kurang seluas penampang basah sungai.
  - 2) Elevasi mercu ambang bendung gerak jangan ditentukan terlalu tinggi agar tidak mengakibatkan arus aliran balik dan pengendapan sedimen.
- b) Pintu-pintu gerak  
Bergantung pada kesesuaian dengan kondisi lapangan, lebar bentang sungai, gaya-gaya yang harus dipikul serta karakteristik sungai dapat dipilih jenis-jenis pintu gerak sebagai berikut.
  - 1) Pintu gerak vertikal
    - (a) pintu vertikal dengan roda;
    - (b) pintu geser vertikal;
    - (c) pintu geser vertikal ganda;
    - (d) balok-balok sekat.
  - 2) Pintu gerak berengsel
    - (a) pintu radial;
    - (b) pintu rebah;
    - (c) pintu engsel vertikal yang sering digunakan pada bangunan pelintas perahu.
  - 3) Kombinasi antara gerak vertikal dan berengsel.  
Pintu gerak vertikal dengan kemampuan roda dan pintu radial dapat diterapkan pada bentang yang lebar dan mampu menahan gaya-gaya hidrostatik yang besar. Di sisi lain, pintu geser vertikal ganda dan pintu rebah memiliki keunggulan dalam kemudahan pengendalian tinggi muka air udik dan pembilasan sampah-sampah melayang.



### 12.3 Bangunan pengambil bebas

#### a) Fungsi

Bangunan pengambil bebas harus didesain agar dapat berfungsi untuk mengatur debit sungai yang disadap sesuai kebutuhan. Di samping hal tersebut, bangunan juga harus dapat mencegah semaksimal mungkin masuknya angkutan muatan sedimen dan atau benda padat lainnya ke bangunan, serta menghindarkan masuknya air banjir.

#### b) Lokasi bangunan

- 1) Sebaiknya bangunan ditempatkan di tikungan luar aliran sungai sehingga arus aliran utama sungai selalu berada di sekitar bangunan dan dapat disadap.
- 2) Bila karena satu atau beberapa sebab bangunan secara alamiah tidak dapat menjamin ketentuan tersebut, harus diusahakan pemecahannya yang paling baik. Cara pemecahan yang dipilih harus sesuai dengan masalahnya, antara lain dapat berupa salah satu atau kombinasi dari beberapa teknik sebagai berikut.
  - (a) pengarah aliran (krib, dinding pengarah, pemantul aliran);
  - (b) perlindungan perubahan tebing, lembah, dan palung sungai (krib, pelindung tebing dan sebagainya);
  - (c) pengendalian dasar sungai.

#### c) Syarat keamanan

- 1) Keamanan hidraulik termasuk rembesan
  - (a) Keamanan hidraulik bangunan pengambil bebas harus ditentukan berdasarkan ketentuan dalam butir-butir yang sama seperti yang disyaratkan untuk bendung.
  - (b) Keamanan terhadap luapan  
Bangunan harus didesain aman terhadap debit desain tertentu dengan kala ulang yang sesuai, sehingga puncak tembok pangkal dan/atau bagian bangunan yang berfungsi untuk melindungi bagian bangunan lainnya harus mempunyai tinggi jagaan yang cukup pada kondisi debit desain tersebut.
- 2) Keamanan terhadap gangguan angkutan muatan sedimen dan benda padat lainnya.  
Keamanan terhadap gangguan angkutan muatan dan benda padat lainnya harus dipertimbangkan dalam mendesain bangunan ini sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang sama seperti pada desain bendung.

#### d) Dimensi hidraulik

Dalam menentukan dimensi hidraulik bangunan pengambil bebas, harus dipertimbangkan kemampuan dan fungsinya yang disebutkan dalam butir a) subpasal 12.3.

##### 1) Penampang aliran masuk

Dimensi bangunan, yaitu lebar dan tinggi penampang basah aliran masuk harus ditentukan sedemikian sehingga:

- (a) Bangunan masih dapat berfungsi untuk memenuhi kebutuhan debit pada keadaan debit andalan sungai, dan
- (b) Bangunan dapat membatasi kecepatan aliran masuk agar laju angkutan muatan sedimen dan/atau benda padat lainnya yang terangkut aliran dapat dikendalikan dan tidak masuk ke bangunan pengambil.

##### 2) Tembok sayap hilir

Bentuk bangunan ini harus ditentukan dengan memperhatikan bentuk bangunan peredam energi, geometri saluran, dalamnya gerusan lokal, stabilitas tebing, dan tinggi muka air hilir pada debit maksimum saluran induk.

##### 3) Tembok pangkal

Tinggi tembok pangkal bangunan pengambil bebas harus ditentukan dengan memperhatikan debit banjir desain agar pada kondisi aliran sungai tersebut aliran air tidak meluap dan masuk ke sistem bangunan. Bentuk tembok dapat didesain tegak, miring atau kombinasinya.



## 12.4 Bangunan sabo

### a) Umum

Bangunan sabo ditujukan untuk mencegah dan mengendalikan pergerakan dan aliran debris agar tidak membahayakan kehidupan, lingkungan sungai, termasuk bangunan-bangunan hidraulik dan morfologi sungai.

Secara umum, bangunan sabo dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- 1) bangunan pengendali longsor;
- 2) dam pengendali sedimen (*check dam*);
- 3) kantong pasir (*sand-pocket*);
- 4) dam konsolidasi (*consolidation dam*);
- 5) kanal penyalur sedimen (*sediment canal*);
- 6) ambang dasar sungai (*ground-sill*).

### b) Bangunan pengendali longsor

Berbagai jenis bangunan dan metode dapat diterapkan untuk mengendalikan longsor pemicu aliran debris, antara lain :

- 1) penghijauan (*reboisasi*);
- 2) terrasering untuk mengurangi kemiringan tebing;
- 3) saluran permukaan dan bawah permukaan untuk mengendalikan muka air tanah agar tetap rendah;
- 4) dinding penahan tanah;
- 5) tiang-tiang pancang.

### c) Dam pengendali sedimen

Pedoman perancangan dam penahan sedimen dibahas secara terperinci dalam SNI 2851:2015, *Desain bangunan penahan sedimen*.

#### 1) Fungsi

Dam penahan sedimen dapat didesain seperti bendung tetap sehingga dapat berfungsi untuk menampung, menahan sedimen dalam jangka waktu sementara atau tetap dan harus tetap dapat melewati aliran air baik melalui mercu maupun tubuh bangunan. Hal ini dimaksudkan untuk menurunkan tinggi tekanan hidrostatik.

#### 2) Lokasi bangunan

Lokasi bangunan harus ditentukan berdasarkan ketentuan yang telah disebutkan seperti pada kasus bendung, juga harus tersedia tempat penampungan sedimen, baik untuk jangka pendek maupun panjang.

#### 3) Syarat keamanan

- (a) Keamanan dam penahan sedimen harus ditentukan seperti persyaratan yang telah disebutkan sebelumnya untuk bendung.
- (b) Keamanan hidraulik dam penahan sedimen harus ditentukan seperti syarat yang telah disebutkan sebelumnya untuk bendung, dan dengan mempertimbangkan bahaya kavitasitas dan benturan batu yang mungkin terjadi di tubuh bagian hilir.
- (c) Seyogianya bangunan ini didesain dalam satu rangkaian yang saling menjaga dan terkonsolidasi dari bahaya gerusan lokal dan degradasi dasar sungai.

#### 4) Dimensi hidraulik

##### (a) Panjang mercu

Panjang mercu pelimpah dam penahan sedimen harus diperhitungkan dengan persyaratan yang telah disebutkan sebelumnya. Di samping hal tersebut, harus diperhitungkan juga kemampuan bangunan untuk menampung sedimen.

##### (b) Tinggi mercu pelimpah



Tinggi mercu pelimpah dam penahan sedimen harus diperhitungkan dengan mempertimbangkan:

(1) Kebutuhan besar volume tampungan sedimen di udik bangunan dengan memperhatikan rangkaian bangunan dengan suatu ruas sungai, apakah tunggal atau serial.

(2) Tinggi muka air genangan yang akan terjadi pada debit desain.

5) Bentuk mercu

Bentuk mercu pelimpah untuk bangunan ini pada umumnya didesain berbentuk ambang lebar dengan memperhatikan benturan dan abrasi oleh muatan yang terangkut aliran.

6) Tubuh bangunan pelimpah

Dimensi tubuh bagian bangunan ini harus ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor:

- (a) bahaya benturan dan abrasi oleh muatan atau benda padat lainnya, dan
- (b) stabilitas struktur serta bahaya erosi buluh.

7) Peredam energi

(a) Dam penahan sedimen dapat tidak dilengkapi dengan bangunan peredam energi mengingat benturan dan abrasi oleh muatan dan benda padat lainnya. Sebagai pengganti, bangunan dilengkapi dengan sub-dam.

(b) Bila bangunan tidak berdiri di atas dasar yang kuat, perlu dipertimbangkan pembuatan bangunan peredam energi dengan:

- (1) jenis lantai yang harus tahan aus dan tahan benturan; atau
- (2) jenis bertangga (*cascade*).

8) Tembok pangkal

(a) Jika tebing sungai cukup kuat, tubuh dam penahan sedimen dapat dibuat monolit dan bangunan harus dimasukkan ke dalam tebing sungai yang stabil dengan kedalaman yang memperhitungkan upaya pengendalian erosi buluh.

(b) Untuk bangunan yang memerlukan tembok pangkal, maka tinggi, panjang, dan bentuk tembok harus ditentukan dengan memperhatikan persyaratan seperti yang telah disebutkan sebelumnya untuk bendung.

Untuk melindungi tebing di udik dan hilir bangunan, diperlukan tembok sayap, yang dimensinya ditentukan oleh faktor-faktor gerusan lokal, aggradasi, degradasi, dan sifat material tebing.

d) Kantong pasir

- 1) Kantong pasir dibangun di daerah kipas-kipas aluvial (*alluvial fan*) dengan tujuan untuk mengendalikan penyebaran aliran debris.
- 2) Bangunan dapat dilengkapi dengan tanggul dan bangunan pelimpah, krib untuk menghindari gerusan pada tanggul dan peredam energi di hilir pelimpah untuk menghindari gerusan lokal;
- 3) Dimensi kantong ditentukan berdasarkan pada kondisi topografi lahan dan skema pengendalian aliran debris secara menyeluruh.
- 4) Pengosongan material secara terkendali dengan pengawasan yang baik berupa kegiatan penambangan bahan galian Golongan C dapat dilakukan di dalam kantong pasir.

e) Dam konsolidasi

- 1) Bangunan ini dimaksudkan untuk mengkonsolidasikan dam-dam pengendali sedimen agar dapat bekerja dalam satu sistem yang saling melindungi dari bahaya gerusan lokal dan degradasi dasar sungai;
- 2) Dam konsolidasi dapat berupa dam pengendali sedimen rendah.



- f) Kanal penyalur sedimen
  - 1) Dibangun di daerah hilir yang kemiringan dasar dan tebing sungainya relatif rendah dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas sungai sehingga mampu melewati aliran air dan sedimen dengan aman.
  - 2) Penampang basah kanal perlu didesain untuk sekurang-kurangnya mampu melewati debit banjir dengan kala ulang 25 tahun.
  - 3) Untuk mendapatkan kemiringan dasar kanal yang optimum guna melewati debit air dan sedimen dan meminimalkan degradasi atau aggradasi, kanal dapat dilengkapi dengan ambang-ambang dasar sungai.
  - 4) Analisis keseimbangan morfologi sungai untuk mengetahui kecenderungan perkembangan kanal perlu dilakukan dengan menggunakan debit dominan.
  - 5) Untuk melindungi tebing kanal dari bahaya gerusan, tebing dan tanggul dapat dilengkapi dengan perkuatan tebing langsung.
- g) Ambang dasar sungai
  - 1) Dalam skema pekerjaan sabo, ambang dasar sungai biasa dibangun untuk mendapatkan kemiringan dasar sungai yang optimum guna mengalirkan debit air dan sedimen, serta mempertahankan keseimbangan morfologi sungai.
  - 2) Ambang dasar sungai biasa dibangun pada sistem kanal penyalur sedimen dan ruas-ruas sungai yang menghadapi problem degradasi atau aggradasi dasar sungai.
  - 3) Prinsip ;asar desain ambang dasar sungai sama seperti desain bendung. Namun demikian pada ambang dasar sungai perlu dilakukan analisis keseimbangan morfologi sungai agar ambang-ambang dasar sungai tersebut dapat bekerja dalam satu sistem bangunan-bangunan air yang saling melindungi, tanpa terjadi problem degradasi dan aggradasi dasar sungai;
  - 4) Dalam analisis keseimbangan morfologi sungai dan penentuan lokasi serta tinggi ambang dasar sungai diharapkan bangunan-bangunan tersebut dapat bekerja dalam satu sistem seperti dimaksud dalam butir c) disarankan untuk menggunakan debit dominan.

## 12.5 Bangunan pengambil jenis Tyrol

Pedoman perencanaan bangunan pengambil jenis Tyrol secara terperinci dibahas dalam Tata cara desain hidraulik bangunan tipe Tyrol.

- a) Fungsi
  - 1) Bangunan pengambil Tyrol hakikatnya adalah bagian dari bendung Tyrol yang diperuntukkan guna menyadap air sungai.
  - 2) Bangunan dibangun melintang pada dasar sungai dan penyadapan air dilakukan melalui saringan yang dipasang pada bagian mercu bendung.
  - 3) Pemanfaatan bangunan pengambil bendung Tyrol terutama dimaksudkan untuk menghindarkan bahaya benturan batu gelundung serta angkutan benda padat lainnya terhadap bangunan dan untuk mengatasi gangguan penyadapan aliran sungai akibat berpindahnya alur sungai.
- b) Persyaratan
 

Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkapanya harus didesain dengan memperhatikan persyaratan berikut.

  - 1) Jenis ini dipilih jika dijumpai bahaya kerusakan bangunan akibat benturan angkutan sedimen batu gelundung dan benda padat lainnya; jika ditemui kesulitan penyadapan air sungai akibat beralihnya alur air sungai dan gejala pengendapan di sungai yang menghalangi pemasukan air ke bangunan pengambil; dan dipilih untuk menghindari gangguan keseimbangan morfologi sungai yang relatif besar akibat pembendungan atau dampak negatif lainnya karena adanya pembendungan.
  - 2) Struktur saringan dibuat sederhana, tahan benturan dan gesekan angkutan sedimen dan benda padat lainnya, tahan vibrasi dan mudah dibersihkan.



- 3) Bangunan pengambil Tyrol hanya sesuai untuk dibangun pada ruas sungai dengan angkutan sedimen dominan fraksi kasar, dan persentase muatan fraksi dengan diameter  $\leq 5$  mm tidak lebih dari 25% dari jumlah angkutan sedimen total.
  - 4) Bangunan pengambil Tyrol harus dilengkapi dengan penangkap pasir, sehingga harus tersedia lahan, lokasi dan perbedaan tinggi (*head*) untuk fasilitas bangunan tersebut.
  - 5) Bangunan pengambil Tyrol jangan dipilih jika diperkirakan menuntut cara-cara operasi, biaya eksploitasi, dan pemeliharaan yang sulit dan mahal.
- c) Keamanan bangunan  
Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkap lainnya perlu didesain dengan memperhatikan keamanan bangunan ditinjau dari segi hidraulik, struktural, operasi dan pemeliharaan.
- d) Keamanan hidraulik  
Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkapanya harus diperhitungkan aman terhadap:
- 1) Bahaya luapan pada bangunan tembok pangkal, tembok sayap udik dan hilir.
  - 2) Bahaya penggerusan setempat, degradasi dasar sungai dan penggerusan tebing.
  - 3) Bahaya erosi buluh akibat aliran di bawah dan di samping bangunan.
  - 4) Bahaya kavitasi.
  - 5) Bahaya akibat perubahan perilaku sungai.
- e) Keamanan struktural  
Bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkapanya harus memenuhi persyaratan kekuatan dan kestabilan struktur baik secara satu kesatuan maupun bagian per bagian dengan perincian yang meliputi:
- 1) Kekuatan terhadap benturan batu dan angkutan benda padat lainnya;
  - 2) Kestabilan bangunan terhadap guling, geser dan penurunan.
- f) Keamanan operasi dan pemeliharaan
- 1) Keamanan operasi: bangunan pengambil Tyrol dan bangunan pelengkap seperti pintu pengatur debit, penangkap pasir dan bagian-bagiannya agar didesain untuk dapat dioperasikan dengan mudah, aman, dan efisien.
  - 2) Pemeliharaan: untuk menjaga fungsi dan keamanan bangunan setelah beroperasi diperlukan pemeliharaan dan pemantauan berkala; hal-hal yang perlu dipelihara yaitu:
    - (1) Saringan dari sumbatan batu, sampah dan mengganti batang-batang yang rusak.
    - (2) Pembersihan berkala gorong-gorong pengumpul dari endapan sedimen secara hidraulik.
    - (3) Pembilasan penangkap pasir secara periodik.
    - (4) Pemeliharaan dan perbaikan lapisan tahan aus dan rip-rap.

## 12.6 Bangunan pengendali dan pelindung dasar sungai

- a) Fungsi  
Bangunan ini dapat didesain berupa ambang seperti bendung tetap atau lantai dan berfungsi untuk mengendalikan ketinggian dan kemiringan dasar sungai, agar dapat mengurangi laju atau mengendalikan proses terjadinya degradasi dasar sungai.
- b) Lokasi bangunan
- 1) Lokasi bangunan harus ditentukan berdasarkan ketentuan yang telah disebutkan sebelumnya dan bangunan atau ruas sungai yang akan dikendalikan.
  - 2) Jumlah bangunan dalam satu serial bangunan harus diperhitungkan terhadap fungsinya dan keadaan kemiringan dasar sungai serta karakteristik angkutan muatan sedimen sehingga diperoleh rangkaian bangunan yang terkonsolidasi.



- c) Syarat keamanan  
Keamanan bangunan ini didesain dengan persyaratan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.
- d) Dimensi hidraulik
  - 1) Jenis penutup dan tanggul banjir ambang
    - (a) Tanggul penutup dan tanggul banjir ambang  
Tinggi tanggul penutup dan tanggul banjir bangunan ini harus ditentukan berdasarkan persyaratan yang sama seperti untuk bendung.
    - (b) Tembok pangkal ambang  
Tinggi, panjang, dan bentuk tembok pangkal bangunan ini harus ditentukan berdasarkan persyaratan seperti untuk bendung.
  - 2) Bangunan jenis lantai  
Untuk bangunan pengendali dan pelindung dasar sungai jenis lantai, ketinggian lantai didesain sama dengan elevasi dasar sungai desain yang diinginkan.

### **12.7 Pelindung tebing langsung**

Pedoman perancangan pelindung tebing langsung diuraikan dalam SNI 03-3441-1994, *Tata cara perencanaan teknik pelindung tebing sungai dari pasangan batu*.

- a) Fungsi  
Bangunan ini didesain untuk diletakkan langsung pada tebing sungai dan berfungsi untuk melindungi tebing terhadap problema berliku dan gerusan lokal karena arus sungai.
- b) Lokasi bangunan  
Bangunan ini dibangun pada tempat yang mungkin atau telah mengalami problem antara lain gerusan, longsor tebing yang mengganggu lingkungannya, seperti permukiman, jalan, dan bangunan.
- c) Syarat keamanan  
Keamanan hidraulik bangunan ini harus diperhitungkan terhadap persyaratan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.
- d) Dimensi hidraulik
  - 1) Tinggi  
Tinggi bangunan harus ditentukan sekurang-kurangnya berdasarkan elevasi muka air banjir tahunan dengan tinggi jagaan secukupnya. Fondasi bangunan harus diletakkan di bawah gerusan lokal dan degradasi terdalam yang diperkirakan akan terjadi. Di samping itu pengamanan fondasi dapat dilakukan dengan pemasangan lantai fleksibel dan/atau panel-panel dasar sungai di depan bangunan.
  - 2) Panjang  
Panjang bangunan harus ditentukan sekurang-kurangnya sepanjang tebing yang perlu dilindungi, dan tergantung kondisi lingkungannya.
  - 3) Bentuk  
Bentuk bangunan dapat didesain tegak atau miring.

### **12.8 Sudetan dan kanal banjir**

- a) Fungsi dan tempat bangunan  
Sudetan adalah saluran buatan terbuka yang dapat berfungsi untuk memindahkan dan/atau membagi aliran sungai. Pada umumnya sudetan dibangun sebagai bagian dari



sistem pengendalian banjir perkotaan atau pada ruas sungai yang berbelok-belok agar alirannya diharapkan akan lebih baik sesuai dengan yang diharapkan.

b) Syarat keamanan

Agar tujuan pembuatan sudetan dapat dicapai sesuai fungsi dan tempat bangunan, maka dalam mendesain sudetan harus dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Terganggunya keseimbangan morfologi sungai.
- 2) Pengaruhnya terhadap bangunan lain di sungai karena perubahan dasar dan muka air sungai akibat sudetan dapat memicu degradasi dasar sungai pada ruas di udik sudetan dan aggradasi pada ruas di hilir sudetan.
- 3) Harus mampu melewati debit desain dengan besaran tertentu yang disesuaikan dengan kapasitas pengaliran palung sungai di hulu dan hilirnya.

c) Dimensi hidraulik

- 1) Penampang basah dan kemiringan dasar sudetan harus ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor:
  - (a) debit desain;
  - (b) kecepatan aliran sedemikian sehingga penampang sudetan stabil (tidak ada gerusan dan pengendapan);
  - (c) karakteristik material dasar dan tebing sungai;
  - (d) prediksi keseimbangan morfologi sungai yang baru.
- 2) Trase sudetan ditetapkan dengan cermat, dan sedapat mungkin disesuaikan dengan kondisi sungai di hulu dan hilirnya.

## 12.9 Pengarah arus (krib) atau pelindung tebing tidak langsung

Pedoman perancangan pelindung tebing tidak langsung diuraikan pada SNI 03-3441-1994, *Tata cara perencanaan teknik pelindung tebing sungai dari pasangan batu*.

a) Fungsi

Bangunan ini didesain dengan tujuan sebagai berikut.

- 1) Melindungi tebing sungai secara tidak langsung dari bahaya gerusan lokal karena arus dan/atau bahaya berliku.
- 2) Memindahkan/mengarahkan arus sungai sesuai tujuan tertentu.
- 3) Memperdalam alur sungai dengan cara mempersempit penampang basah sungai, yaitu dengan memasang satu serial krib.

b) Lokasi bangunan

Lokasi bangunan krib harus ditentukan berdasarkan ketentuan dan harus dipilih sesuai dengan fungsinya yaitu:

- 1) Di tikungan luar sungai untuk melindungi tebing, dari perkembangan sungai arah mendatar.
- 2) Di tempat longsor atau gerusan tebing untuk mengembalikan stabilitas tebing dan kondisi aliran.
- 3) Di alur sungai pada debit kecil untuk mengarahkan aliran, umpamanya agar aliran dapat mengalir menuju dan masuk ke bangunan pengambil.

c) Syarat keamanan

Krib harus didesain aman terhadap:

- 1) Gerusan lokal dan degradasi dasar sungai yang mungkin terjadi;
- 2) Benturan dan/atau abrasi oleh muatan sedimen dan/atau benda padat yang terangkut aliran;
- 3) Tekanan air (gaya dorong dan/atau seret dari arus) pada debit desain;
- 4) Bahaya longsor tebing dan tekanan sedimen yang mungkin terjadi.

d) Dimensi hidraulik

- 1) Arah krib



Arah krib harus ditentukan berdasarkan pertimbangan kondisi dan respons morfologi sungai, dan fungsi yang hendak dicapai, dan dapat dibuat tegak lurus atau menyudut terhadap arah arus yang dikehendaki.

2) Tinggi krib

Tinggi krib harus ditentukan berdasarkan elevasi bantaran sungai yang ada, atau kira-kira setinggi elevasi muka air untuk debit dominan desain. Dalamnya fondasi bangunan harus didesain sesuai kebutuhan stabilitas dan diletakkan di bawah elevasi kemungkinan gerusan lokal, degradasi terdalam yang akan terjadi dan bidang gelincir keruntuhan tebing sungai. Untuk mengatasi masalah gerusan lokal dan degradasi dasar sungai, dapat dipasang lantai atau pelindung dasar sungai fleksibel.

3) Jarak krib

Jarak krib harus ditetapkan berdasarkan pertimbangan faktor berikut:

- (1) lebar sungai;
- (2) panjang krib;
- (3) keadaan arus dan tajam belokan sungai;
- (4) pola daerah lindung krib.

4) Panjang krib

Panjang krib ditentukan berdasarkan pertimbangan faktor berikut.

- (1) keadaan dan posisi tebing sungai yang ada dan tebing yang dikehendaki;
- (2) lebar sungai;
- (3) jarak antarkrib.

5) Jumlah krib

Pada suatu ruas sungai, krib harus dibangun dalam suatu sistem dan tidak boleh dibangun tunggal karena krib tunggal tidak pernah dapat berfungsi dengan baik.

## 12.10 Tanggul banjir

a) Fungsi

Bangunan ini umumnya didesain sebagai bangunan tipe urugan tanah, dan berfungsi untuk melindungi daerah rendah dengan nilai ekonomi tinggi terhadap bahaya banjir. Tanggul biasanya ditempatkan di kiri dan/atau kanan sungai.

Di daerah permukiman padat, tanggul sering dibangun sebagai dinding beronjong batu, pasangan batu atau beton.

b) Syarat keamanan

- 1) Mengingat fungsinya seperti tersebut dalam butir a) subpasal ini, maka tanggul harus aman terhadap kemungkinan luapan aliran pada debit banjir desain.
- 2) Puncak tanggul harus mempunyai tinggi jagaan yang cukup di atas muka air sungai pada debit banjir desain setelah tanggul dibangun.
- 3) Dalam profil memanjang dari hulu ke hilir, ketinggian puncak tanggul harus disesuaikan dengan muka air di sepanjang sungai.
- 4) Debit banjir desain dan tinggi jagaan harus diambil menurut ketentuan yang berlaku.
- 5) Lereng bangunan dalam tanggul harus ditutupi pelindung terhadap kerusakan akibat gerusan lokal oleh arus sungai pada debit banjir desain.
- 6) Trase tanggul terhadap tebing sungai harus ditetapkan berdasarkan kondisi setempat, dengan memperhatikan, baik faktor teknik, ekonomi maupun sosial. Jarak antara trase tanggul dan tebing sungai diusahakan cukup jauh sehingga longsor atau gerusan pada tebing sungai tidak mempengaruhi stabilitas tanggul.

c) Dimensi

1) Tinggi

Tinggi tanggul harus ditentukan agar memenuhi persyaratan yang tersebut dalam butir b) subpasal ini.

2) Lebar puncak



Lebar puncak tanggul pada umumnya ditentukan oleh pemanfaatannya, misalnya untuk lalu lintas umum, jalan inspeksi, dan kebutuhan stabilitas.

3) Lereng

Lereng tanggul harus ditentukan dengan mempertimbangkan faktor geoteknik material tanggul dan tebing sungai dalam analisis stabilitas tanggul dan kemungkinan gerusan sungai.

#### 12.11 Bangunan lintas atas sungai (jembatan, talang, pipa isap dan bangunan pipa: air minum, gas, minyak dan kabel)

a) Bangunan bawah

Bangunan bawah dari bangunan lintas atas sungai berfungsi untuk mendukung bangunan bagian atasnya, dan umumnya terdiri atas pilar, tembok pangkal tembok sayap udik dan hilir lengkap dengan fondasinya.

b) Lokasi bangunan

Lokasi bangunan ini harus ditentukan berdasarkan ketentuan dalam Pasal 10, dan perlu diupayakan untuk dipilih pada ruas sungai yang relatif lurus.

c) Syarat keamanan

1) Bagian bawah bangunan lintas atas sungai tidak boleh memperkecil penampang basah sungai. Penampang basah sungai harus tetap mampu melewati debit sebesar debit banjir desain dengan aman, baik bagi bangunan bersangkutan dan lingkungan di sekitarnya, maupun bagi daerah di udik bangunan.

2) Debit banjir desain seperti yang dimaksud pada butir a) harus diambil sesuai dengan sistem pengelolaan sungai dan jenis bangunan yang didesain serta mengikuti ketentuan yang berlaku. Secara umum dapat dipergunakan debit desain dengan kala ulang 100 tahun.

3) Agar ketentuan seperti yang dimaksud butir 1) dapat dicapai, bangunan harus didesain agar memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut;

(a) Bangunan tidak boleh menimbulkan arus pembendungan yang dapat mengakibatkan banjir atau genangan di daerah hulu bangunan, dan atau mengakibatkan berkurangnya kapasitas alur sungai di hulu bangunan.

(b) Bangunan harus mempunyai ruang bebas menurut ketentuan yang berlaku sehingga muka air sungai pada debit banjir desain tidak menyentuh setiap bagian atau komponen bangunan atas dengan memperhitungkan juga prediksi perubahan morfologi sungai yang merugikan.

(c) Bangunan harus stabil, baik secara parsial maupun menyeluruh terhadap gerusan lokal, dan degradasi dasar sungai.

(d) Setiap bagian bangunan tidak boleh rusak akibat angkutan muatan sedimen dan benda padat lainnya.

4) Bagian bangunan tidak boleh menyebabkan penyempitan penampang aliran sungai. Bagian bangunan yang sering menimbulkan problem semacam ini antara lain:

(a) Tembok pangkal yang menjorok masuk ke sungai.

(b) Jarak antarpilar yang relatif terlalu dekat/rapat, dan

(c) Sisa bangunan lama dan sisa bangunan penunjang pelaksanaan yang tidak terpakai dan tidak dibongkar.

d) Dimensi bangunan bagian bawah

1) Arah dan bentuk tembok pangkal dan pilar harus diatur sedemikian sehingga serasi dengan pola aliran. Bilamana ketentuan ini sulit terpenuhi karena satu atau beberapa sebab, maka perlu diusahakan perbaikan arah aliran, antara lain dengan tembok rayap udik dan hilir, serta pengarah arus.



- 2) Dasar kepala fondasi pilar bangunan lintas atas disarankan tertanam di bawah elevasi terendah prediksi gerusan lokal dan degradasi dasar sungai yang mungkin terjadi.

#### 12.12 Bangunan lintas bawah sungai (sifon, gorong-gorong dan bangunan pipa: air minum, gas, minyak, angkutan pasir dan kabel)

- a) Fungsi  
Bangunan ini berfungsi untuk mengalirkan benda cair, gas, dan padat, serta melindungi kabel yang melintas melewati bawah dasar sungai.
- b) Lokasi bangunan  
Lokasi bangunan lintas bawah sungai harus ditentukan berdasarkan ketentuan dalam Pasal 10.
- c) Syarat Keamanan  
Dalam mendesain jenis bangunan ini harus dipertimbangkan ketentuan sebagai berikut.
  - 1) Kedalaman dasar bangunan ditentukan sedemikian sehingga aman terhadap pengaruh degradasi dasar sungai dan gerusan lokal yang mungkin terjadi. Seluruh bagian bangunan ini harus berada di bawah dasar sungai.
  - 2) Tebing dan dasar sungai di sekitar bangunan harus dilindungi terhadap kemungkinan kerusakan apabila material tebing dan dasar sungai mudah tergerus.

#### 12.13 Bendungan

Detail pedoman perencanaan dan desain bendungan diuraikan pada SNI 03-1731-1989, Pedoman keamanan bendungan, Pedoman penyelidikan geoteknik untuk fondasi bangunan air, dan Pedoman umum instrumentasi tubuh bendungan tipe urugan dan tanggul.

- a) Fungsi  
Bendungan merupakan bangunan air yang berfungsi untuk menampung kelebihan air di musim penghujan dan meninggikan muka air.  
Dengan memperhatikan fungsi tersebut, bendungan dapat dibangun sebagai salah satu bangunan hidraulik dalam sistem penyediaan air baku, pengendalian banjir, atau pembangkit tenaga listrik.
- b) Lokasi bangunan  
Bendungan pada umumnya merupakan suatu bangunan hidraulik yang besar dengan kompleksitas pembangunan, operasi dan pemeliharaan yang tinggi dengan potensi dampak negatif dan positif yang luas. Berkaitan dengan karakteristik ini, maka lokasi bendungan perlu ditentukan secara saksama dengan memperhatikan hal-hal berikut :
  - 1) Tujuan utama pembangunan bendungan.
  - 2) Karakteristik tanah dan batuan fondasi.
  - 3) Topografi lahan, lapisan batuan permukaan dan dampaknya terhadap dimensi bendungan, volume material yang harus digali dan didatangkan untuk tubuh bendungan.
  - 4) Ketersediaan dan karakteristik material untuk komponen-komponen struktur bangunan.
  - 5) Kebutuhan untuk pengelakan aliran sungai sementara, pemompaan dan hal-hal lain yang diperlukan untuk pengeringan lahan selama pembangunan bendungan.
  - 6) Alat transportasi yang diperlukan untuk menunjang pelaksanaan struktur.
  - 7) Keamanan struktur secara keseluruhan.
- c) Syarat keamanan
  - 1) Fondasi bendungan merupakan salah satu hal terpenting dalam menentukan lokasi dan struktur bendungan.



- 2) Fondasi harus cukup kedap sesuai dengan tujuan bendungan dan mampu menahan beban tubuh bendungan dan bagian-bagian bendungan, serta mampu menahan tekanan yang timbul akibat air yang ditampung.
- 3) Lembah perlu dipilih cukup lebar, tetapi tidak berlebihan untuk mengakomodasi bangunan pelimpah, pembangkit listrik, tubuh bendungan utama dan bagian-bagian bendungan yang perlu disediakan.
- 4) Bendungan jenis urugan tanah atau batu, bangunan pelimpah perlu didesain sebagai struktur tersendiri.
- 5) Dalam analisis keamanan bendungan, perlu dicakup skenario dampak terhadap lingkungan jika bendungan tersebut runtuh.

### 13 Pemilihan metode dan pengujian dengan model

#### 13.1 Ketentuan umum

- a) Dalam mendesain bangunan, diperlukan metode perhitungan yang tepat dan andal untuk dapat menentukan: dimensi, kapasitas bangunan, bentuk hidraulik bangunan, tipe setiap bagian bangunan, cara operasi, dan cara konstruksi sehingga keamanan bangunan dan sungai dapat terjamin dengan baik.
- b) Metode seperti yang dimaksud dalam butir a) ini harus dipilih berdasarkan pertimbangan berikut ini.
  - 1) Metode yang sudah lazim dipakai secara nasional menurut ketentuan yang berlaku.
  - 2) Bilamana metode yang dimaksud dalam butir a) tersebut belum ada, maka diizinkan menggunakan metode yang berlaku secara internasional dengan persetujuan bersama antara pihak pendesain, pemilik, dan instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.
  - 3) Sesuai dengan risiko dan konsekuensi yang mungkin dapat terjadi akibat didirikannya bangunan bersangkutan;
  - 4) Sesuai dengan jenis dan kelas bangunan, serta tipe bagian-bagian yang hendak didesain;
  - 5) Sesuai dengan perkembangan teknologi yang ada;
  - 6) Sesuai dengan keandalan data desain yang dapat diperoleh menurut ketentuan Pasal 4, 5, 6, 7 dan 8.

#### 13.2 Penyederhanaan dasar hidraulik

- a) Aliran sungai lazimnya selalu berubah dalam dimensi ruang dan waktu. Kondisi aliran sungai untuk mendesain bangunan dapat disederhanakan, tetapi harus tetap sesuai dengan penggunaannya. Penyederhanaan sifat aliran sungai yang lazim dipakai dalam desain antara lain pendekatan:
  - 1) aliran langgeng semu seragam (*quasy steady uniform flow*);
  - 2) aliran langgeng semu (*quasy steady flow*);
  - 3) aliran tidak langgeng (*unsteady flow*).
- b) Corak permukaan dasar sungai aluvial dapat berubah bergantung pada kondisi aliran. Dalam perhitungan hidraulik sungai untuk mendesain bangunan, permukaan dasar sungai aluvial dapat dianggap tetap atau kaku untuk selang waktu tertentu (dengan menerapkan asumsi langgeng semu) dengan koefisien kekasaran aliran tertentu. Koefisien ini dapat ditetapkan menurut ketentuan yang telah disebutkan sebelumnya.
- c) Apabila di suatu sistem sungai telah dan atau akan terdapat beberapa bangunan, perhitungan hidraulik untuk mendesain bangunan harus mempertimbangkan kesatuan sistem yang terpadu.



### 13.3 Uji model hidraulik

- a) Uji Model Hidraulik (UMH) adalah suatu kegiatan pengujian hidraulik untuk dapat memantapkan suatu desain atau gagasan, yang rumus-rumus hidraulik dengan koefisiennya tidak dapat memberi gambaran yang jelas mengenai masalah lapangan nyata dengan cukup baik.  
UMH dapat dilakukan dengan model fisik dan atau model numerik tergantung dari jenis dan lingkup masalah yang dihadapi.
- b) UMH Fisik adalah suatu penyelidikan atau pengujian di laboratorium hidraulika dengan model fisik untuk mempelajari berbagai masalah detail hidraulik dengan cakupan ruang yang tidak terlalu besar yang mungkin timbul karena didirikannya suatu bangunan di sungai dan pengaruh timbal balik perubahan morfologi sungai terhadap masalah hidraulik yang erat kaitannya dengan fungsi dan keamanan bangunan. Masalah yang dapat dipelajari antara lain :
  - 1) Kondisi aliran (tinggi air, kecepatan, debit, tekanan, arah aliran).
  - 2) Penggerusan lokal.
  - 3) Pengaruh degradasi dan aggradasi, serta problema angkutan muatan sedimen yang lain.
  - 4) Problema pengoperasian dan pemeliharaan.
  - 5) Verifikasi koefisien rumus aliran dan muatan sedimen untuk perhitungan teoritis.
  - 6) Kinerja model fisik untuk mensimulasikan kondisi lapangan perlu ditunjang dengan proses kalibrasi dan verifikasi.
- c) UMH Numerik adalah suatu penyelidikan atau pengujian hidraulik dengan bantuan model numerik, dengan tujuan sama dengan UMH Fisik yaitu untuk mempelajari kondisi aliran dan angkutan muatan sedimen dengan mempergunakan korelasi matematik aliran dan angkutan muatan sedimen yang koefisiennya ditentukan melalui proses kalibrasi, verifikasi dan analisis kepekaan. UMH Numerik mempunyai kelebihan dibandingkan UMH Fisik untuk mempelajari permasalahan dengan cakupan ruang dan waktu yang panjang, misalnya analisis respons perubahan morfologi sungai dan analisis genangan banjir. Namun demikian UMH Numerik memiliki kelemahan untuk mempelajari masalah-masalah hidraulik detail, misalnya problem gerusan lokal.
- d) Desain bangunan yang penting, mahal, mempunyai masalah teknis berat dan atau memerlukan teknologi canggih harus diperiksa dengan UMH.

## 14 Koordinasi pengelolaan bangunan dan sungai

### 14.1 Koordinasi

- a) Setiap penyiapan rencana mendirikan suatu bangunan atau mengubah suatu bangunan yang sudah ada, harus ditinjau dalam satu sistem sungai, dan dengan mempertimbangkan pengaruh negatif, baik terhadap bangunan lain, terhadap sungainya sendiri maupun terhadap lingkungan sekitarnya. Pengaruh tersebut meliputi antara lain:
  - 1) Keamanan dan fungsi bangunan, baik yang telah ada maupun yang direncanakan akan dibangun.
  - 2) Eksploitasi dan pemeliharaan bangunan tersebut.
  - 3) Kelestarian lingkungan.
- b) Untuk memenuhi maksud pada butir a), maka :
  - 1) Setiap desain (termasuk rencana pelaksanaan konstruksi dan rencana eksploitasi dan pemeliharaan) bangunan baru atau desain perubahan bangunan lama, harus dikoordinasikan kepada instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan sungai serta seluruh pemangku kepentingan (*stake holders*).
  - 2) Instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai wajib memeriksa kelayakan desain tersebut, khususnya yang menyangkut



keserasian atas hal-hal dalam butir a). Berdasarkan desain yang disetujui, instansi tersebut juga wajib melakukan pengawasan atas pelaksanaan konstruksinya.

- 3) Bila timbul masalah dalam pelaksanaan desain tersebut dan tidak dapat diselesaikan oleh instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai, maka masalah tersebut harus diajukan kepada pihak berwenang yang lebih tinggi.

#### 14.2 Pemantauan untuk pengelolaan sungai

- a) Untuk menjaga kelestarian bangunan dan lingkungan sungainya, instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai wajib melakukan pemantauan berkala tentang perubahan perilaku sungai dan morfologi sungai, sebagai dampak didirikannya bangunan.
- b) Para pemilik bangunan wajib melakukan pemantauan berkala tentang gejala yang dialami oleh bangunan miliknya ataupun gejala yang ditimbulkan oleh bangunan tersebut terhadap sungai, dan melaporkannya kepada instansi yang berwenang dan bertanggung jawab terhadap pembinaan atas sungai.
- c) Hasil pemantauan seperti dalam butir a) dan b) ini selanjutnya harus dianalisis, dengan maksud agar:
  - 1) Segini mungkin dapat dilakukan usaha pencegahan atau usaha penanggulangan, jika diperkirakan akan terjadi respons perubahan lingkungan sungai yang merugikan dan menyebabkan persyaratan hidraulik bangunan yang bersangkutan tidak memenuhi persyaratan lagi;
  - 2) Dapat digunakan sebagai data masukan untuk perencanaan, desain, dan konstruksi bangunan baru atau perbaikan bangunan lama.



## Bibliografi

Ackers P, White W.R., Perkins J.SA. and Harrison A.J.M. (1978), *Weirs and Flumes for Flow measurement*.

*Discharge Measurement Structures*, Publication 20 (1978), International Institute for Land Reclamation and Improvement, Delft Hydraulic Laboratory, University of Agriculture, Departement of Hydraulics and Irrigation.

Pedoman Geoteknik Tahun 1984.

Pd. T-01-2003, *Tata cara desain hidraulik bangunan tipe tyrol*.

PT-2005, *Penyelidikan geoteknik untuk fondasi bangunan air, Vol.I, II dan III*.

Pd. T-10-2004-A, *Pedoman umum instrumentasi tubuh bendungan tipe urugan dan tanggul*.

Pd. T-24-2004-A, *Pengisian kekosongan data hujan dengan metode korelasi distandarisasi non linier bertingkat*.

KP-02, *Standar perencanaan irigasi untuk bangunan air*.

